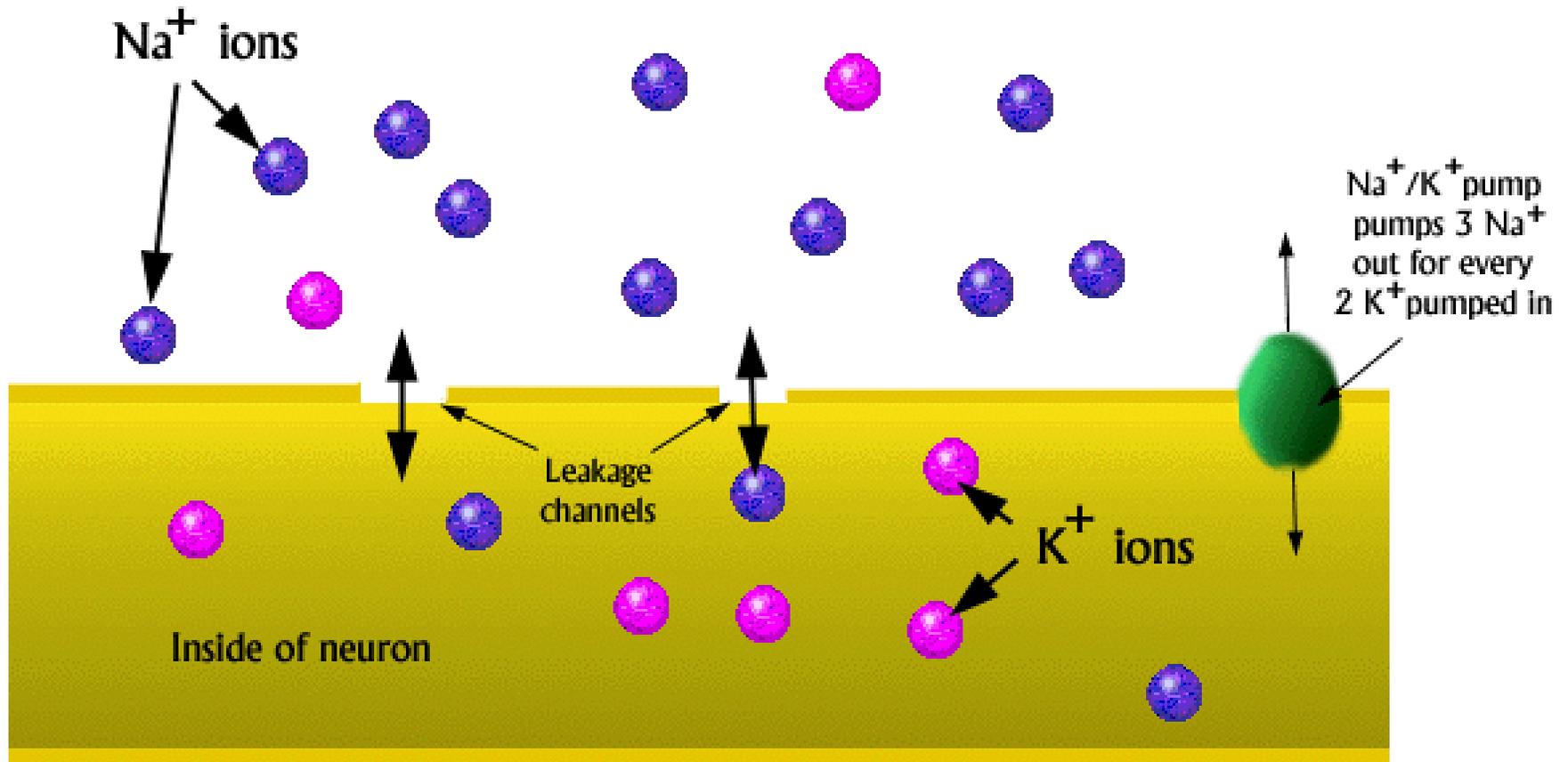


Membranpotential

Ionenverteilung innerhalb und außerhalb der Zelle

| <i>Ion</i> | <i>Concentration (mM)</i> | |
|-----------------------------|---------------------------|----------------------|
| | <i>Intracellular</i> | <i>Extracellular</i> |
| Squid neuron | | |
| Potassium (K ⁺) | 400 | 20 |
| Sodium (Na ⁺) | 50 | 440 |
| Chloride (Cl ⁻) | 40-150 | 560 |
| Calcium (Ca ²⁺) | 0.0001 | 10 |
| Mammalian neuron | | |
| Potassium (K ⁺) | 140 | 5 |
| Sodium (Na ⁺) | 5-15 | 145 |
| Chloride (Cl ⁻) | 4-30 | 110 |
| Calcium (Ca ²⁺) | 0.0001 | 1-2 |

Ionenverteilung innerhalb und außerhalb der Zelle

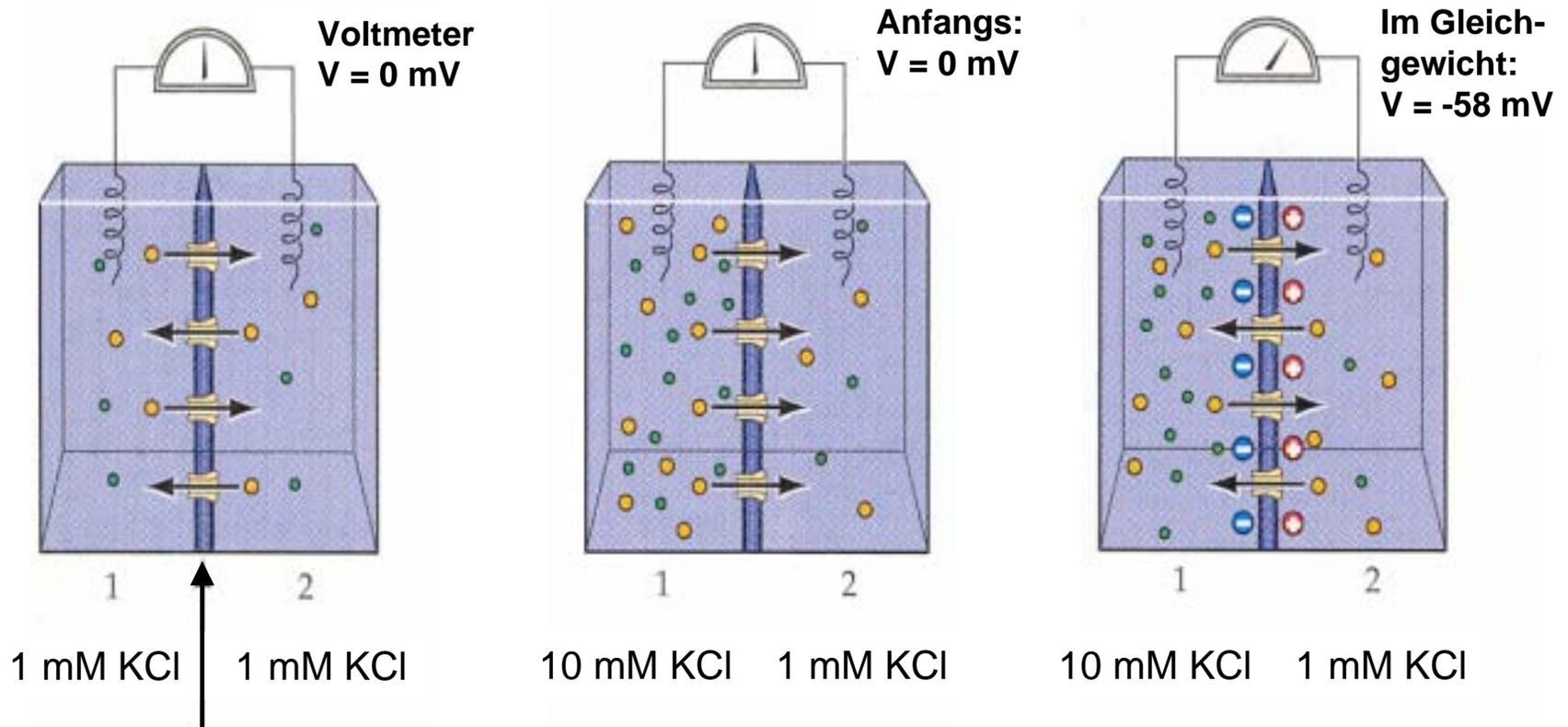


Elektrochemisches Gleichgewicht

K^+ permeable Membran trennt zwei Behälter \rightarrow wechselseitige K^+ Diffusion über die K^+ -Kanäle

K^+ Konzentrationsgradient \rightarrow einseitiger K^+ Fluss, Aufladung der Membran

Bis chemische und elektrische Kraft im Gleichgewicht sind \rightarrow **Gleichgewichtspotential**



Membran permeabel für K^+

Nernst - Gleichung

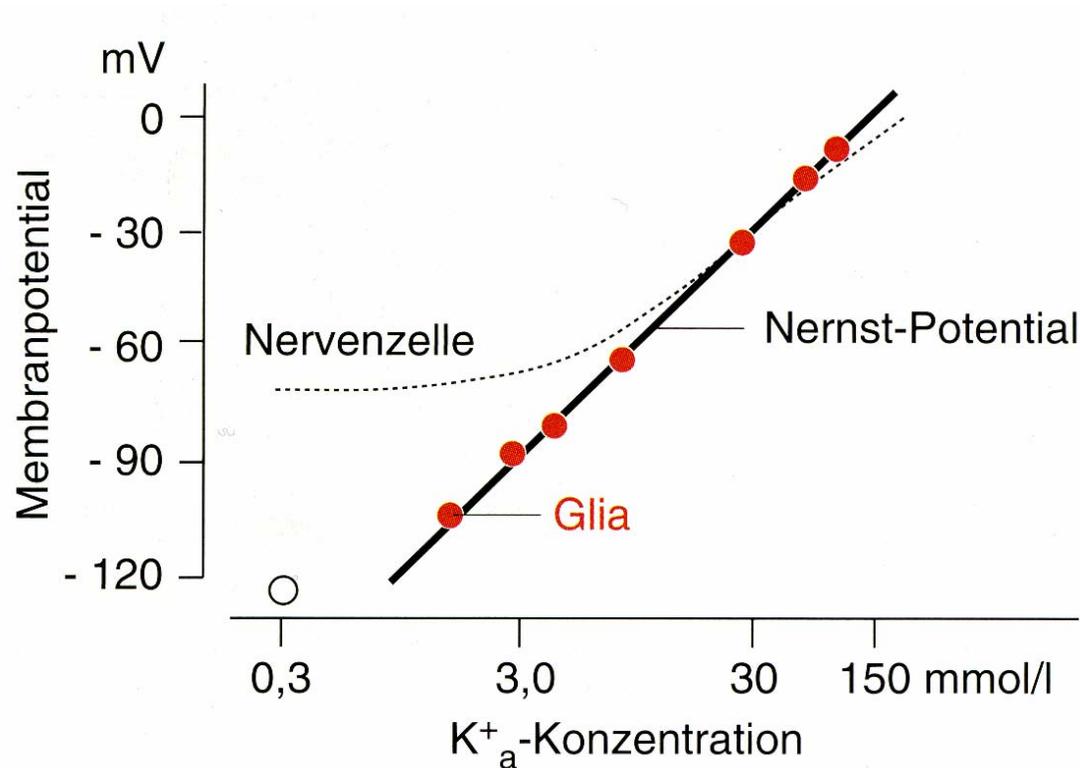
$$E_K = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[K^+]_a}{[K^+]_i}$$

$$E_A = \frac{58}{z} \log \frac{[A]_a}{[A]_i}$$

| | |
|-------------|---|
| E_K | elektrisches Gleichgewichtspotential für Kalium |
| R | allgemeine Gaskonstante |
| T | Temperatur in °Kelvin |
| F | Faradaykonstante |
| z | Valenz des Ions (= +1 für K ⁺) |
| ln | natürlicher Logarithmus |
| $[]_{a/i}$ | Konzentration innen/aussen |

| | |
|-------------|--|
| E_A | elektrisches Gleichgewichtspotential für Ion A |
| z | Valenz des Ions |
| log | 10-Logarithmus |
| $[]_{a/i}$ | Konzentration innen/aussen |
| | Gilt für 25°C |

Membranpotential in Abhängigkeit von $[K]_a$ bei Neuronen und Glia



Goldmann - Gleichung

$$V_m = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_K [K^+]_a + P_{Na} [Na^+]_a + P_{Cl} [Cl^-]_i}{P_K [K^+]_i + P_{Na} [Na^+]_i + P_{Cl} [Cl^-]_a}$$

| | |
|-------------|----------------------------|
| V_m | Membranpotential |
| R | allgemeine Gaskonstante |
| T | Temperatur in °Kelvin |
| F | Faradaykonstante |
| ln | natürlicher Logarithmus |
| $[]_{a/i}$ | Konzentration innen/aussen |

P Permeabilität, hängt von Zahl der Kanäle ab

Gleichung gilt nur für monovalente Ionen,
Beachte: Cl⁻ Konzentrationen sind invertiert (Valenz: -1)

V_m wird dominiert vom Ion mit der größten Membranpermeabilität

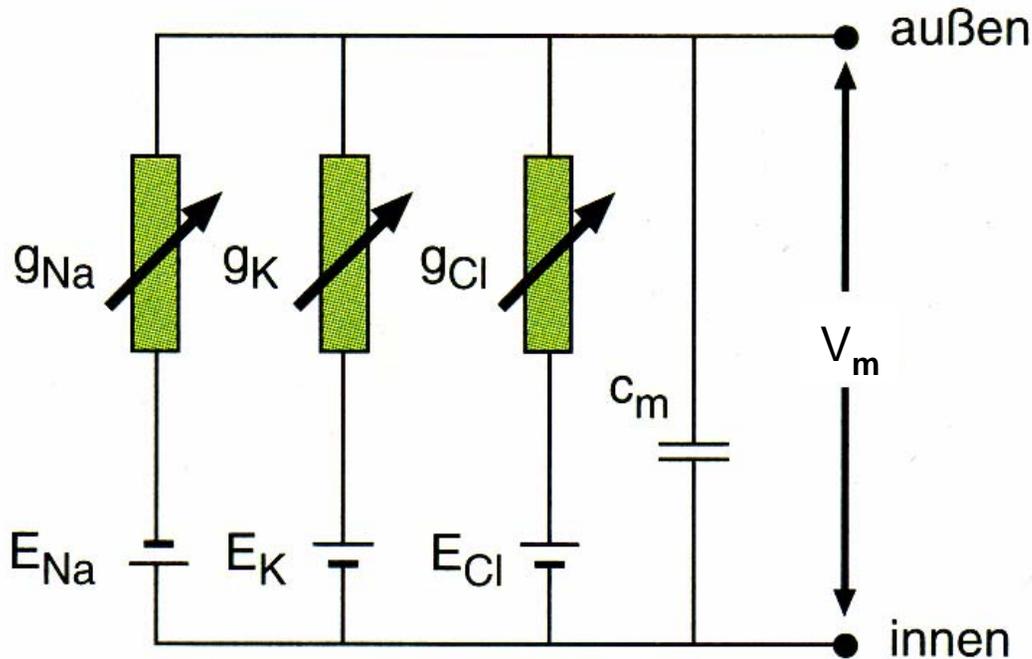
Normalzustand eines Neurons:

$$P_K : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 0,04 : 0,45$$

Während eines Aktionspotentials:

$$P_K : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 20 : 0,45$$

Membran - Ersatzschaltbild



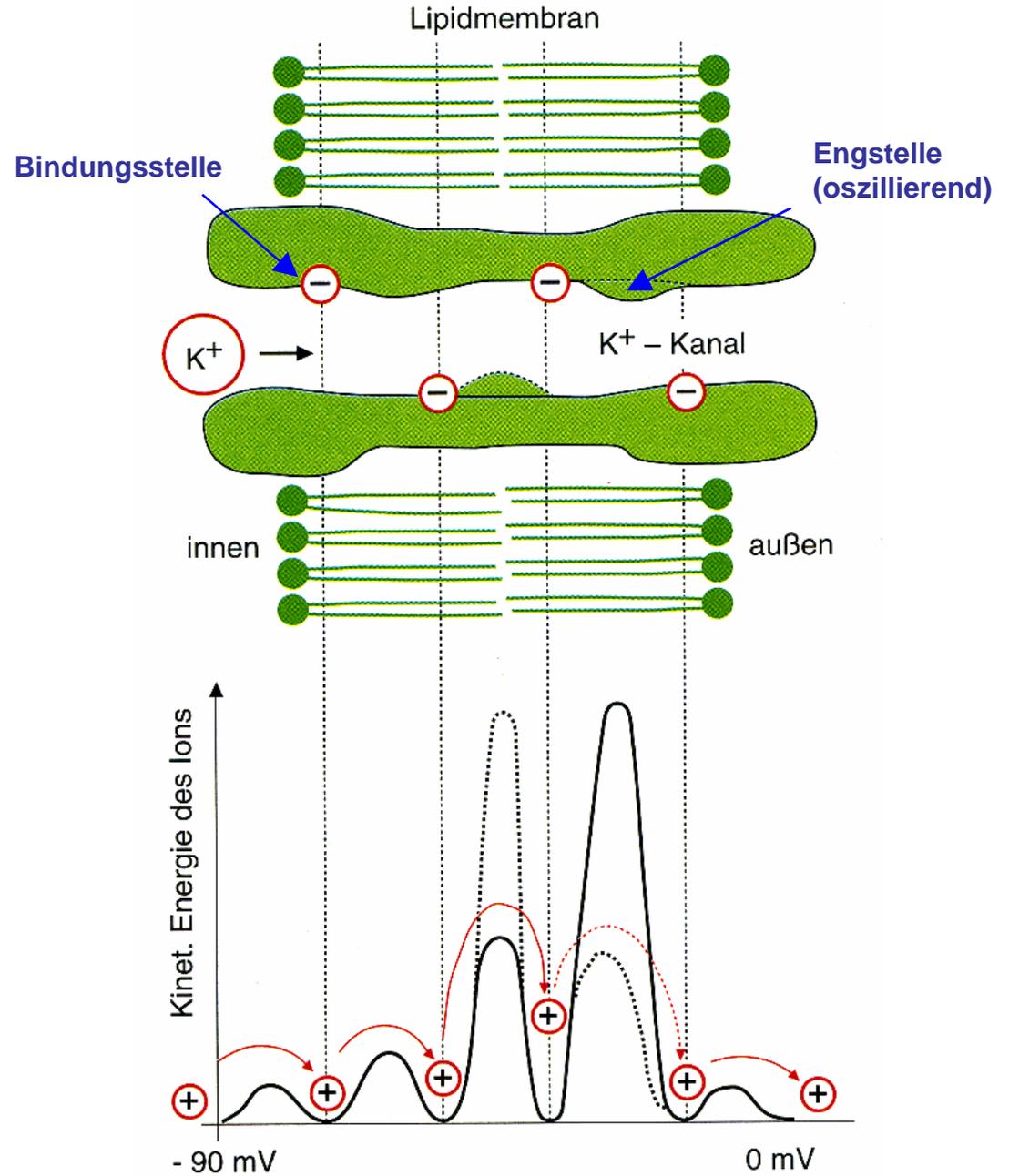
V_m Membranpotential

g_{Ion} Leitfähigkeit der Membran
(proport. zu Permeabilität)

E_{Ion} Gleichgewichtspotential

C_m Membrankapazität

Kaliumkanal

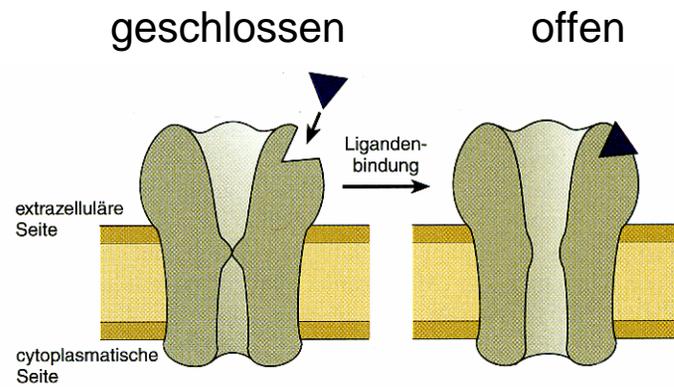


Zusammenfassung: **Ruhemembranpotential**

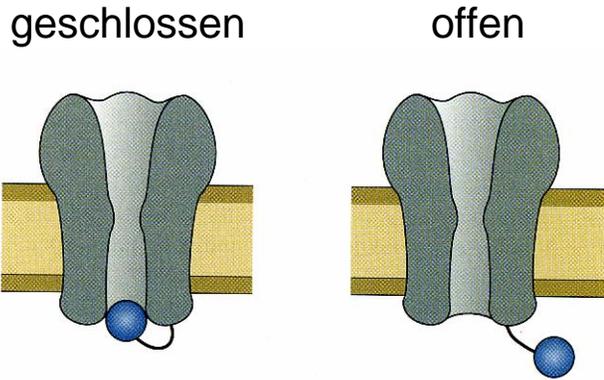
- **Aktive Membranpumpe(Na/K-ATPase)** erzeugt unterschiedliche Konzentrationen für Natrium und Kalium im intra-/extrazellulären Raum
 - **Innen: viel Kalium wenig Natrium**
 - **Aussen wenig Kalium viel Natrium;**
- Membran ist im Ruhezustand hauptsächlich für Kalium permeabel
- Membranpotential entsteht aufgrund Wanderung von Kaliumionen nach aussen
- Es entsteht **elektrochemisches Gleichgewicht**. Wanderung der Kaliumionen stoppt, wenn chemischer Gradient durch elektrischen Gradienten kompensiert wird.
- **Nernst-Gleichung** beschreibt das entsprechende Potential (für einen Ionentyp)
- **Goldmann-Gleichung** beschreibt den Anteil unterschiedlicher Ionentypen am Membranpotential

Steuerung von Membrankanälen

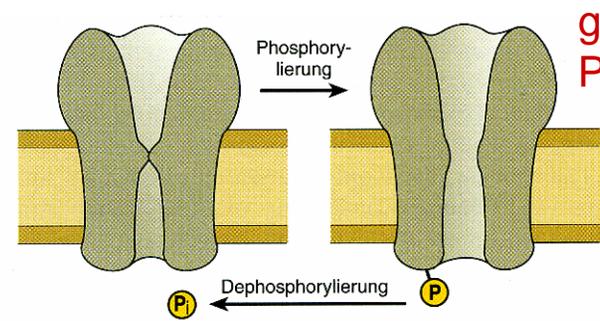
Membrankanäle können geöffnet und geschlossen werden



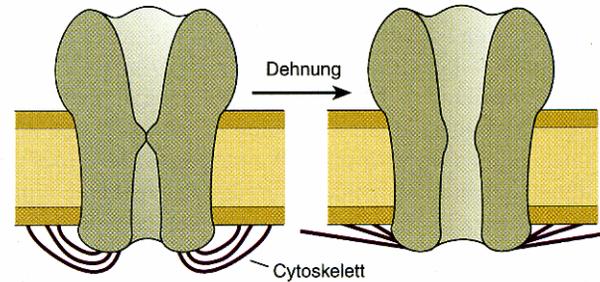
Liganden-gesteuert



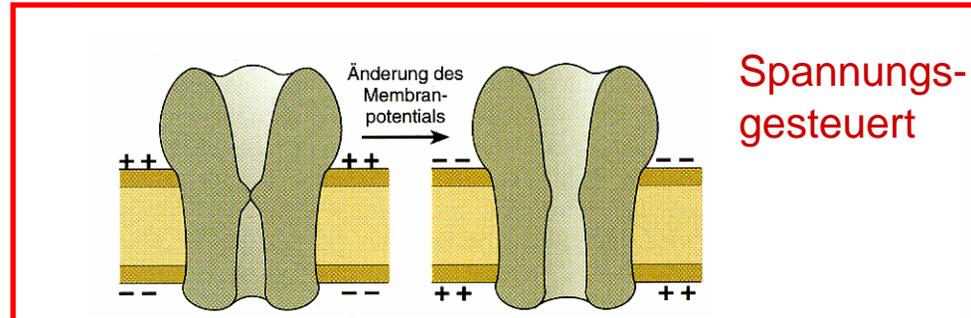
blockierendes Teilchen



gesteuert durch Phosphorylierung

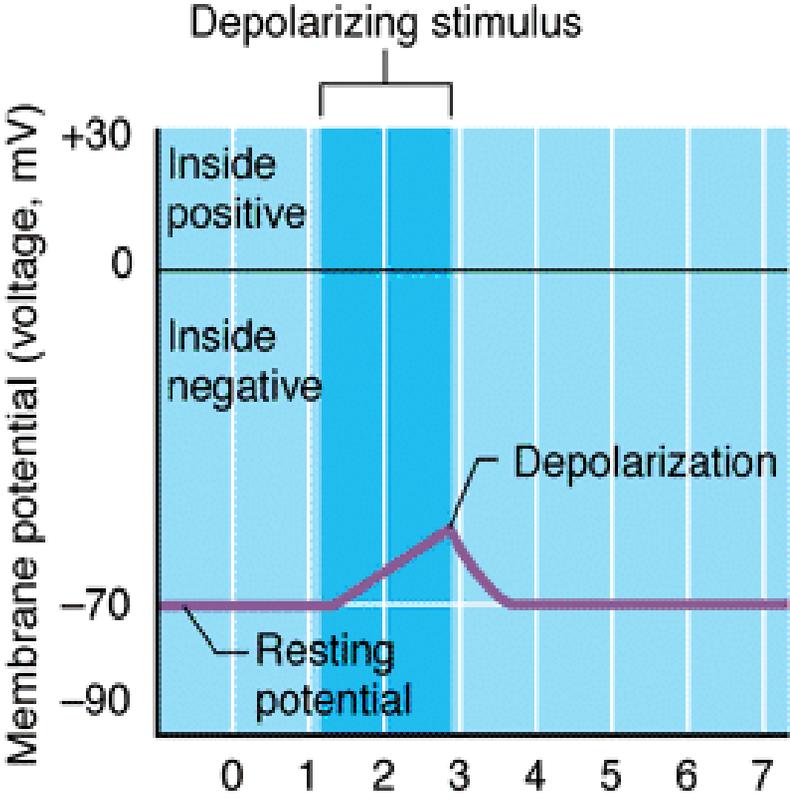


mechanisch gesteuert

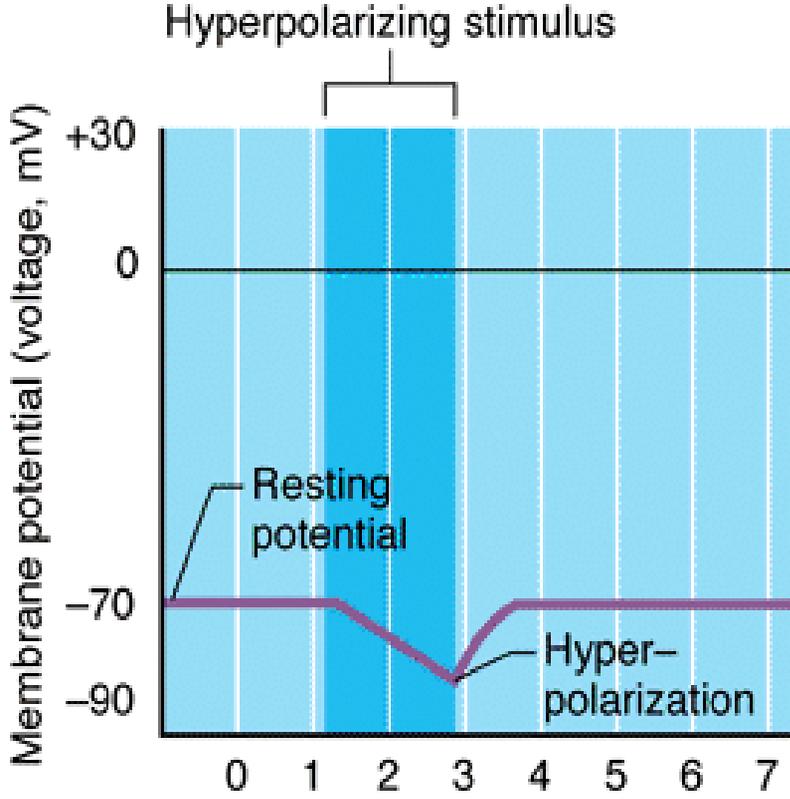


Spannungs-gesteuert

Definition einer **Depolarisation** und einer **Hyperpolarisation**



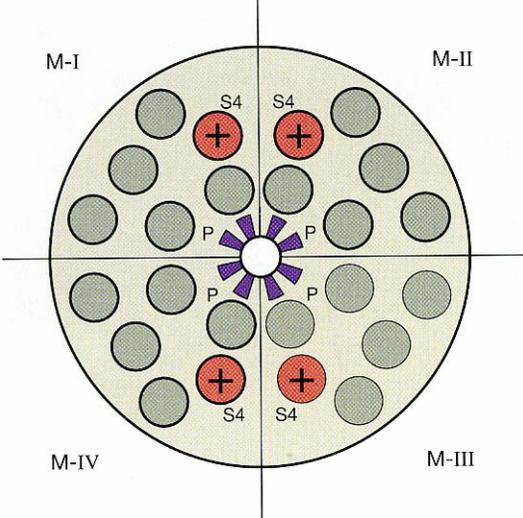
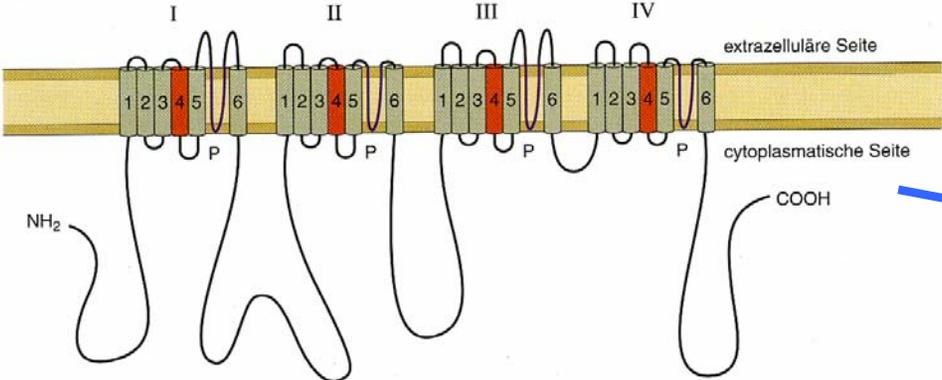
(a)



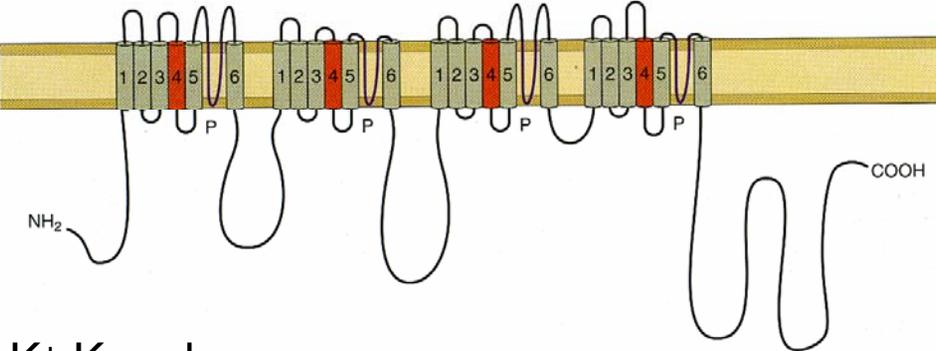
(b)

Struktur von V-abhängigen Kanälen

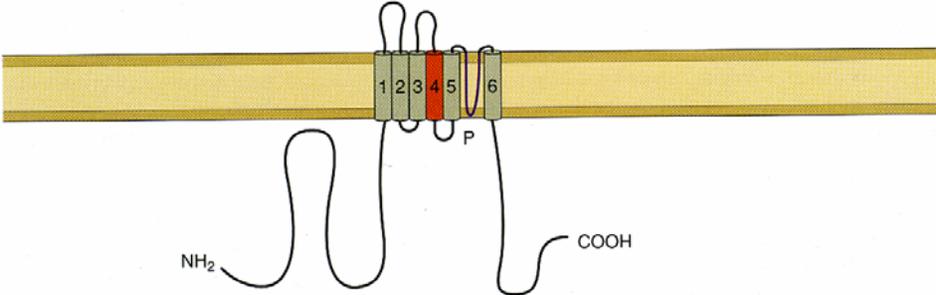
Na⁺ Kanal, α -UE



Ca⁺ Kanal



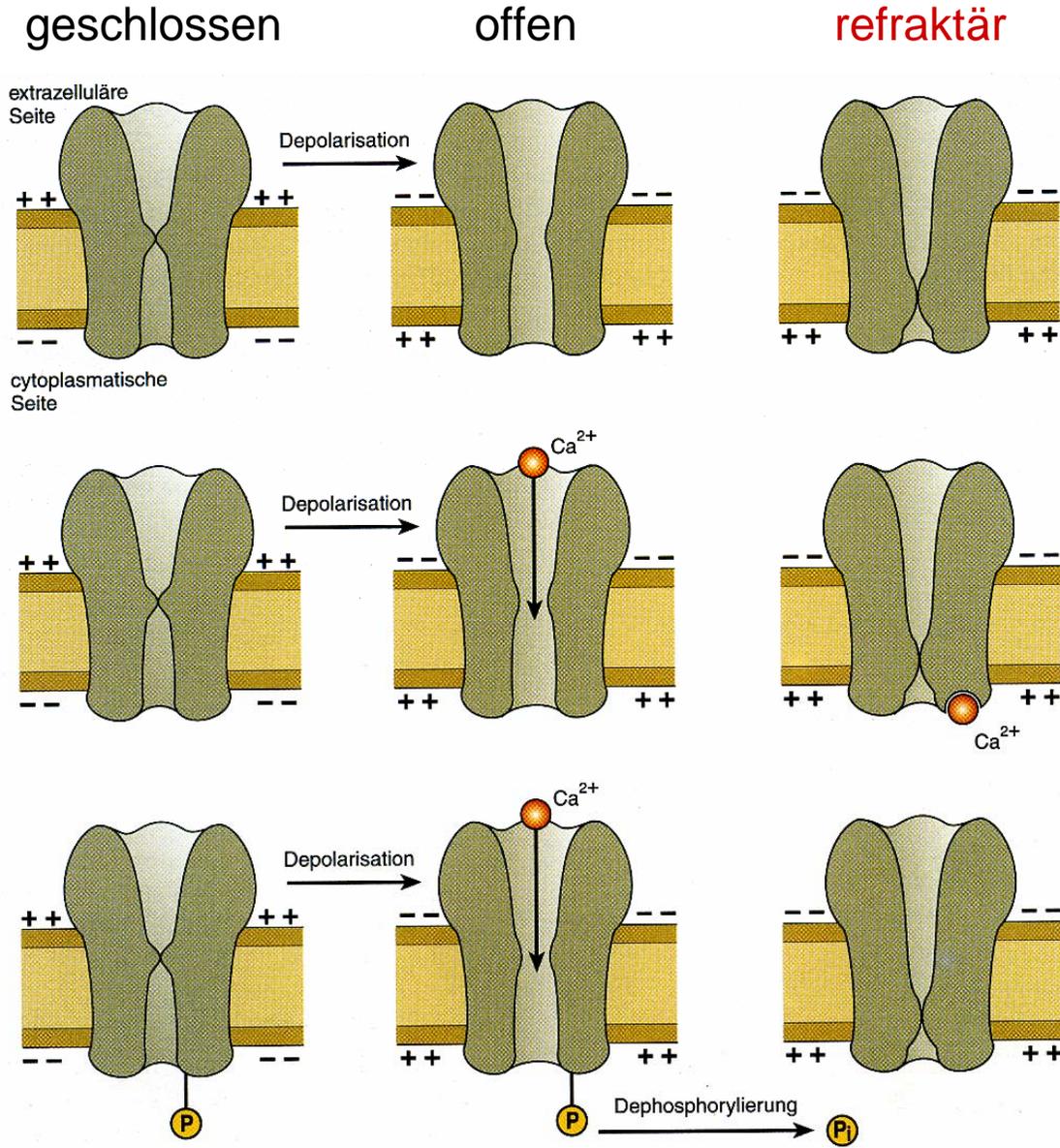
K⁺ Kanal



Motiv von sechs α -helices als Transmembrankomponenten

In rot: Spannungssensor
P-regionen bilden die Wand der Pore

Refraktärphase V-abhängiger Kanäle



aufgrund von Änderung des Membranpotentials

Ca^{2+} Bindung

Dephosphorylierung

Zusammenfassung: **Steuerung von Membrankanälen**

- Öffnungszustand kann abhängen von:
 - Blockierende Teilchen
 - extrazelluläre Bindung spezifischer Liganden
 - intrazelluläre Modulation (z.B. Phosphorylierung)
 - mechanische Reizung
 - **Membranpotential → Depolarisation/Hyperpolarisation**
- Spannungsabhängige Kanäle sind meist nur kurz geöffnet und dann inaktiviert (**Refraktärphase**)